



Le "BOUM" du flou au Japon

Catherine Bellon, Patrick Bosc, Henri Prade

► To cite this version:

Catherine Bellon, Patrick Bosc, Henri Prade. Le "BOUM" du flou au Japon. [Rapport de recherche] RR-1215, INRIA. 1990. inria-00075343

HAL Id: inria-00075343

<https://hal.inria.fr/inria-00075343>

Submitted on 24 May 2006

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



UNITÉ DE RECHERCHE
INRIA-RENNES

Institut National
de Recherche
en Informatique
et en Automatique

Domaine de Voluceau
Rocquencourt
B.P.105
78153 Le Chesnay Cedex
France
Tél.: (1) 39 63 55 11

Rapports de Recherche

N° 1215

Hors Programmes

LE "BOUM" DU FLOU AU JAPON

Catherine BELLON
Patrick BOSC
Henri PRADE

Avril 1990



★ R R - 1 2 1 5 ★

Le "boum" du flou au Japon

The "fuzzy boom" in Japan

Catherine BELLON* Patrick BOSC Henri PRADE*****

* L.G.I., Unité Génie Matériel, 46 Avenue Félix Viallet, 38031 GRENOBLE Cedex

** E.N.S.S.A.T., Université de Rennes I, 6 rue de Kérampont, B.P. 447, 22305 LANNION Cedex & I.R.I.S.A., Campus Scientifique de Beaulieu, Avenue du Général Leclerc, 35042 RENNES Cedex

*** L.S.I.-I.R.I.T., Université Paul Sabatier, 118 route de Narbonne, 31062 TOULOUSE Cedex

Les organismes ci-après ont contribué de diverses manières à la réalisation de ce rapport :

- le Service Scientifique de l'Ambassade de France au Japon (Ministère des Affaires Etrangères) qui a commandité et pris en charge la mission dont le rapport rend compte,
- les Universités de Grenoble-I.N.P.G. et de Rennes I auxquelles respectivement deux des auteurs sont rattachés,
- le C.N.R.S. auquel appartient le troisième auteur,
- l'I.N.R.I.A. qui assure une diffusion de ce rapport complémentaire à celle de la Division de l'Information Scientifique et Technique du Ministère des Affaires Etrangères.

Table des matières

	Pages
• Avant-Propos	3
• Introduction et Rappels	4
- Systèmes de commande floue	4
- Matériels spécialisés	7
- Systèmes experts flous	9
• Visites effectuées	12
- Tokyo Institute of Technology	12
- Hitachi	15
- Yamachi Securities	16
- Université Hosei	17
- Université Meiji	19
- LIFE	21
- Omron	23
- Matsushita Electric	27
• Conclusion	31
• Références	35
• Annexe 1 : Programme de la mission	40
• Annexe 2 : Annonces de conférences sur les ensembles flous au Japon	42

Résumé

Ce rapport a été établi au retour d'une mission au Japon ayant pour but de visiter quelques-uns des centres de recherche universitaires et industriels japonais les plus impliqués dans le domaine du flou. On trouve d'abord une présentation de trois thèmes de recherche principaux s'appuyant sur les ensembles flous : systèmes de commande floue, systèmes experts flous et matériels spécialisés. Ensuite, on relate les différentes visites en mentionnant les principaux axes de recherche/développement et les points essentiels des discussions qui ont eu lieu. La conclusion dresse un bilan des visites et esquisse quelques propositions relatives au développement de ce domaine en France.

Abstract

This report has been written after a trip in Japan during which some R&D centers investigating fuzzy sets theory and applications have been visited. Three major research areas based on the fuzzy sets are first presented : fuzzy control systems, fuzzy expert systems and dedicated hardware. Then, the various visits are reported as well as the principal R&D topics and the essential points of discussion. The conclusion is devoted to the assessment of the visits and some proposals connected to this research domain in France are outlined.

Avant-Propos

Le présent rapport est le compte-rendu d'une mission effectuée au Japon, à Tokyo, Kyoto et Osaka, du 14 au 21 octobre 1989. On en trouvera le programme précis en Annexe 1. Le rapport est organisé en trois parties. Une introduction rappelle succinctement les idées à la base de la mise en œuvre des ensembles flous dans les domaines d'application dont il sera le plus question dans la suite : la commande de processus et les systèmes experts ; cette première partie comporte également une brève vue d'ensemble des solutions existantes en matière d'implémentation, par des matériels spécialisés, de ces techniques. La seconde partie est constituée par une présentation détaillée des visites effectuées. La troisième partie synthétise les enseignements de la mission et s'efforce d'en tirer une leçon sur le plan français.

Le titre de ce rapport a été choisi pour se faire l'écho de l'expression "fuzzy boom" que plusieurs de nos interlocuteurs ont utilisée pour parler de l'éclosion actuelle de très nombreuses applications des ensembles flous au Japon et de leur retentissement médiatique considérable dans ce pays.

Ce rapport prolonge et précise un premier document sur le sujet réalisé et diffusé par le Service Scientifique de l'Ambassade de France au Japon [14] il y a quelques mois.

**Les auteurs,
Novembre 1989**

Introduction et Rappels

L'idée d'ensemble flou [66] a été introduite par le Professeur L.A. Zadeh de l'Université de Berkeley en 1965. Il s'agit de la représentation de classes aux frontières mal déterminées à l'aide de fonctions caractéristiques prenant leurs valeurs dans l'intervalle $[0,1]$. Dans une classe floue, certains éléments considérés comme "marginaux" reçoivent ainsi un degré d'appartenance strictement inférieur à 1. On pourra se reporter au dossier récemment publié par "Interfaces" [5] pour une introduction élémentaire et une vue d'ensemble sur les applications des ensembles flous.

Les ensembles flous constituent un outil de représentation des connaissances car ils permettent de prendre en compte les catégories vagues ou flexibles que peuvent utiliser les experts dans des règles de la forme

si X est A alors Y est B

où A et B désignent des ensembles qui peuvent être éventuellement flous ; le flou de A permet notamment d'exprimer que la règle reste plus ou moins applicable même quand la valeur de X s'écarte quelque peu des éléments complètement compatibles avec A, tandis que le flou de B permet plutôt de traduire l'incertitude quant aux valeurs plus ou moins possibles que peut prendre Y. De telles règles sont utilisées dans les systèmes de commande floue tout comme dans des systèmes experts flous.

Systèmes de commande floue

L'idée en a été initialement proposée par Zadeh [67] en 1973 et la première réalisation a été effectuée par l'équipe du Professeur Mamdani [25] l'année suivante. Il s'agit dans le principe d'une technique extrêmement simple qui ne fait appel qu'à un fragment assez petit de la théorie des ensembles flous. Un système de commande floue est constitué par une collection de m règles de la forme

si X_1 est A_1^i et... et X_n est A_n^i alors Y est B_i , $i = 1, m$

où les X_j représentent des variables de sortie du système à commander (ou leurs dérivées) et où Y est une variable de commande (supposée ici unique pour la simplicité). En d'autres termes les X_j sont des variables observables du système à commander qui donc constituent les variables d'entrée du système de commande, tandis que Y, variable de sortie du système de commande,

est évidemment une variable d'entrée du système qu'on veut piloter. Les ensembles flous A_j^i sont des éléments de partitions floues des référentiels des variables X_j (par exemple en "négatif-grand" (NG), "négatif-moyen" (NM), "négatif-petit" (NP), "zéro" (Z), "positif-petit" (PP), "positif-moyen" (PM), "positif-grand" (PG) comme sur la Figure 1). Ce qui mène à des règles telles que "si X_1 est NP et X_2 est PP alors Y est Z".

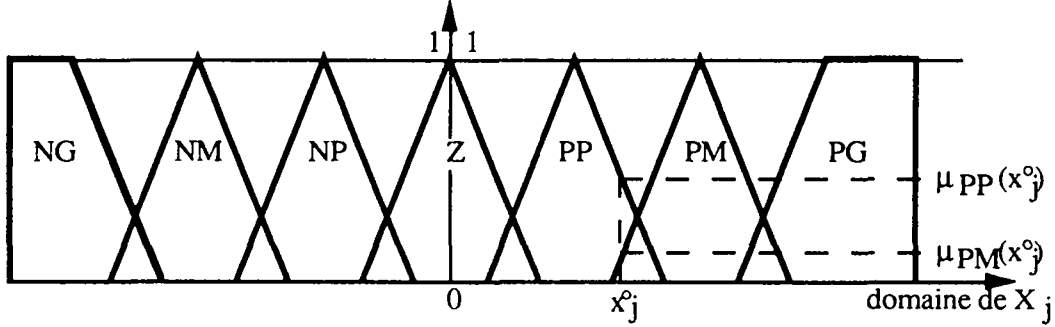


Figure 1

Etant donné une sortie précisément observée (x^o_1, \dots, x^o_n) , Mamdani calcule le sous-ensemble flou B^* défini par

$$B^* = \bigcup_{i=1,m} \alpha_i \wedge B_i$$

où $\alpha_i \wedge B_i$ est le sous-ensemble flou défini par $\min(\alpha_i, \mu_{B_i})$, où μ_{B_i} est la fonction caractéristique de B_i , où $\alpha_i = \min_{j=1,n} \mu_{A_j^i}(x^o_j)$ est le degré de compatibilité entre la sortie du système et la partie condition de la règle n^o_i , et où l'union des ensembles flous est définie par l'opération 'max' appliquée aux fonctions caractéristiques. Ceci peut être vu comme une forme de raisonnement par analogie : la valeur de la commande est à prendre dans l'union des ensembles de valeurs recommandées pour les situations (décrites dans les parties conditions des règles) qui ressemblent plus ou moins à la sortie observée ; cette union est alors naturellement pondérée par les degrés de ressemblance α_i . Si besoin on choisit dans B^* une valeur particulière y^o (opération dite de "défuzzification") qui est souvent prise en pratique (dans le cas d'un référentiel continu ordonné) comme le barycentre des éléments de B^* compte-tenu de leurs degrés d'appartenance (méthode dite du "centre de gravité" dans la littérature). En particulier dans le cas où les sous-ensembles B_i se réduisent à des valeurs uniques b_i , cette méthode conduit à prendre

$$y^o = \frac{\sum_{i=1,m} \alpha_i \cdot b_i}{\sum_{i=1,m} \alpha_i}.$$

Cette règle de combinaison est effectivement utilisée par Sugeno et son équipe [40] et beaucoup d'autres, dans le cas de règles à parties conclusions non-floues. Dans le cas de fonctions d'appartenance triangulaires (souvent utilisées en pratique) pour les A_j^i , telles que celles de la

Figure 1, il est clair qu'il n'y a en général que deux α_i qui sont non-nulles et que donc le choix de la commande y^o repose sur un mécanisme d'*interpolation* entre les conclusions non-floues de deux règles dont les parties conditions sont plus ou moins compatibles avec la sortie du système.

Les règles floues de commande sont soit élaborées à partir d'informations données par l'opérateur humain (comme on le fait pour des systèmes experts), soit à partir d'enregistrements de l'opérateur humain commandant le système. Des techniques d'auto-adaptation ont été proposées [2][35][16] et peuvent être utilisées si nécessaire pour fixer les partitions floues des référentiels (nombre de sous-ensembles flous et paramètres réglant leur amplitude). Certains ont proposé récemment d'utiliser des réseaux neuronaux pour l'acquisition des règles de commande floue [22].

Un organe de commande floue effectue le même travail qu'un organe de commande de type PID puisqu'il définit implicitement une fonction numérique reliant la variable de commande aux variables observées. Mais c'est dans la façon de trouver cette fonction que se situe la différence. En automatique classique, la commande est calculée à partir d'un modèle mathématique du processus, alors que l'approche par la logique floue, conforme en cela avec l'Intelligence Artificielle, construit la commande à partir de l'expertise de l'opérateur humain. Néanmoins, la logique floue s'écarte de l'approche système expert standard en offrant un mécanisme d'interpolation à partir de plusieurs règles. Ainsi tout en ayant une commande linguistique à base de règles, on préserve la continuité de la fonction simulée par l'organe de commande, comme en automatique classique. Si l'on parvient à trouver les «bonnes règles», on obtient donc un système de commande très robuste, qui évite les à-coups. Dans le cas de processus complexes, il peut s'avérer beaucoup plus simple en pratique de saisir les connaissances d'un opérateur expert plutôt que de calculer une commande optimale.

Signalons cependant l'existence d'une technique de commande floue prédictive [64] qui ne recourt pas à une technique d'interpolation implicite. Elle consiste à sélectionner en temps réel la règle de commande floue dont les résultats prédits par un sous-ensemble du système de commande, sont les plus en accord avec les valeurs souhaitées de différents indices de performance.

Les systèmes de commandes floues après avoir été développés et expérimentés en Europe (notamment en Grande-Bretagne [24], en France [53] et au Danemark [32]) à la fin des années soixante-dix, ont commencé à être appliqués à grande échelle, dans l'industrie au Japon, dès la première moitié des années quatre-vingt [38], alors même que les équipes européennes travaillant dans le domaine devaient, pour la plupart, arrêter leurs recherches faute de soutien.

L'intérêt pour la commande floue s'est encore amplifié depuis en restant essentiellement cantonné au Japon, comme en témoignent différents numéros spéciaux récents de revue [39] [43][61] et les trois dernières conférences internationales consacrées aux ensembles flous [33], [34], [4], dont deux d'entre elles ont été organisées au Japon (en 1987 et 1988). Voir aussi une liste de 100 applications de la logique floue récemment compilée [15].

Matériels spécialisés

Les besoins d'une commande temps réel pour des processus très rapides ou la nécessité de compacité pour certaines applications ont incité à développer des implémentations matérielles spécifiques pour les systèmes de commande floue.

On peut distinguer trois approches, suivant le type de codage des informations floues :

- codage digitalisé, proposé par Togai et Watanabe [44] de A T & T Bell Laboratoires
 - codage en tension [58]
 - codage en courant [62][63]
- } tous deux proposées par Yamakawa.

Pour le codage digitalisé, il est nécessaire de discrétiser à la fois les valeurs du domaine d'une variable et les degrés d'appartenance. Dans [44], une partition des domaines en 31 éléments et une discrétisation des degrés en 16 niveaux (codage sur 4 bits) sont utilisées, ce qui mène à un codage sur 124 bits. Par exemple, la représentation de la fonction caractéristique de l'ensemble flou Z de la Figure 1 pourrait être :

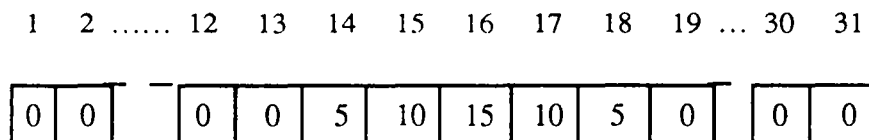


Figure 2

Ce codage sert à représenter les fonctions caractéristiques :

- des variables observées si elles sont de type flou
- des sous-ensembles flous en partie gauche (A^i_j) et droite (B_j) des règles. La mémorisation des règles consiste à stocker ces fonctions caractéristiques en mémoire (RWM ou ROM)
- des sous-ensembles flous de sortie (B^*).

Les calculs à effectuer sont uniquement des comparaisons (min ou max) entre entiers codés sur 4 bits, et l'implémentation proposée en [44] permet de traiter les règles en parallèle, tout en effectuant les calculs en série pour une règle. Un certain nombre de VLSI spécialisés utilisant ce type de codage ont été spécifiés ou réalisés [44][52][6][7].

Dans le codage en voltage, le domaine de valeurs est discrétisé, mais la valeur d'une fonction caractéristique en chaque point est représentée par un voltage entre 0V et 5V. Ce type de réalisation a été proposé dès 1969 par P. Marinos [26], combinée avec de la logique à seuil pour effectuer de la classification. Dans [58], une partition des domaines en 25 éléments est proposée. La représentation de la fonction caractéristique de l'ensemble flou Z de la Figure 1 serait :

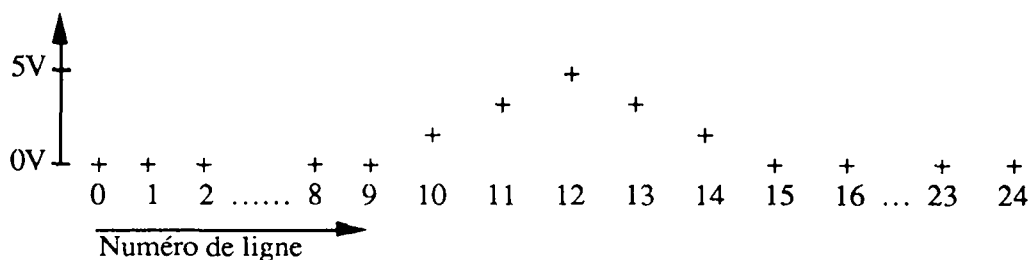


Figure 3

Des circuits min et max à base de transistors bipolaires ont été définis, ainsi qu'un générateur programmable de fonctions caractéristiques, réalisé en MOS. L'implémentation est simplifiée par le fait que le contrôleur flou proposé implémente uniquement la méthode de Mamdani décrite en page 4 et 5 de ce rapport :

- partition en 7 sous-ensembles flous A_i^j (cf. Figure 1), avec des fonctions caractéristiques triangulaires
- variables précisément observées x_j^o (valeur entre -5V et +5V), auxquelles il suffit d'associer un degré d'appartenance $\mu_{A_i^j}(x_j^o)$, codé entre 0V et 5V sur une ligne.

Mais les B_i sont effectivement des ensembles flous (sur 25 lignes), et B^* est "défuzzifié" par une méthode de centre de gravité qui est délicate à implémenter et nécessite d'avoir recours à des circuits bipolaires en mode linéaire. Dans [59], l'auteur étudie le même type de codage dans le cas où les valeurs de commande sont précises (B_i réduit à une valeur b_i , méthode de Sugeno) ; dans ce cas, la défuzzification n'est pas nécessaire, et le circuit beaucoup plus simple.

Pour le codage en mode courant, la valeur d'une fonction caractéristique est représentée par l'intensité d'un courant. Dans [63], il est montré que les opérations floues de base peuvent

se ramener à deux :

- différence bornée $\text{Max}(0, \mu_x - \mu_y)$
- somme algébrique $\mu_x \pm \mu_y$.

En mode courant, la somme est réalisée en connectant deux lignes. La différence bornée nécessite l'utilisation d'un miroir de courant. Ceux-ci étant plus précis en MOS, c'est une technologie CMOS standard qui est utilisée. Il semble que cette technique permette d'obtenir des circuits moins sensibles aux conditions d'alimentation et de température qu'en mode voltage. Le même auteur a proposé successivement :

- un réseau flou de type prédiffusé [60]
- un "fuzzifier" [62].

Les implémentations matérielles développées pour le flou concernent principalement le contrôle flou ; bien qu'il soit dit très souvent que ceci constitue un premier pas vers "l'ordinateur flou", il semble que seul le processeur décrit dans [6] présente la programmabilité nécessaire ; en contre-partie il s'agit d'un circuit beaucoup plus "classique" (codage digitalisé).

Systèmes experts flous

La représentation de connaissances imprécises, vagues ou incertaines en Intelligence Artificielle et la mise en œuvre d'inférences à partir de telles informations, dans le cadre de la théorie des possibilités [68][11], constitue un champ d'application important des ensembles flous. La méthode de base pour raisonner déductivement consiste alors à *combiner* toutes les informations disponibles représentées par des relations floues sur des produits cartésiens, puis à *projeter* le résultat de cette combinaison sur le domaine de la variable dont on veut estimer la valeur. Cette méthode pose des problèmes de mise en œuvre pratique étant donné le temps de calcul qu'elle nécessite en général quand elle est appliquée à toute la base de connaissance. C'est pourquoi la plupart des systèmes qui ont été développés (principalement en Europe ou aux Etats-Unis) l'appliquent plutôt à des règles expertes floues et à des faits éventuellement flous pris isolément, et combinent ou propagent ensuite les conclusions ainsi obtenues. Le lecteur intéressé pourra consulter le Chapitre 4 de [11] ou [12] par exemple, pour des vues d'ensemble sur les problèmes posés, la mise en œuvre de systèmes experts flous et plus généralement par le traitement de l'incertitude dans les systèmes à règles "si... alors". On se borne ici à indiquer brièvement en quoi le traitement de règles floues dans des systèmes experts nécessite une méthodologie nettement plus sophistiquée que celle mise en œuvre dans les systèmes de commande floue. En effet se posent en particulier les problèmes suivants :

* Il faut savoir évaluer la partie condition (qui peut être une combinaison logique de conditions

élémentaires) d'une règle en présence de données imprécises et/ou incertaines représentées par des ensembles flous ; ceci est nécessaire pour pouvoir enchaîner des règles dans la mesure où les règles peuvent avoir des conclusions floues.

- * Les règles floues "si... alors" utilisées dans des raisonnements déductifs peuvent recouvrir des nuances différentes en matière de gradualité (induite par les prédicats vagues) ou d'incertitude [12]. Ceci pose le problème de choisir le bon opérateur \rightarrow d'implication multivalente pour représenter le contenu de la règle "si X est A alors Y est B" sous la forme $\mu_A(x) \rightarrow \mu_B(y)$ (plutôt que sous la forme $\min(\mu_A(x), \mu_B(y))$) (ou quelquefois $\mu_A(x) \cdot \mu_B(y)$) comme dans les systèmes de commande floue).
- * Les conclusions partielles obtenues à partir de règles concluant sur la même variable doivent être ensuite combinées en une conclusion globale. Cette étape de combinaison pose des problèmes délicats (renforcement ou non de conclusions convergentes, préférence des conclusions obtenues par les règles les plus spécifiques, gestion des conflits entre conclusions partielles, ...).
- * Plus généralement les règles "si... alors" des systèmes experts peuvent exprimer des savoirs concernant des problématiques bien différentes. On peut distinguer ainsi entre i) des règles de "prescription" qui à une situation donnée associent un ensemble éventuellement flou d'actions plus ou moins envisagées ou recommandées (les règles des systèmes de commande peuvent être considérées comme appartenant à cette catégorie), et dont les conclusions sont utilisées ultérieurement dans un processus de décision, ii) des règles exprimant des relations de dépendance, des contraintes liant des variables, qui seront utilisées dans des raisonnements déductifs, et iii) des règles de "diagnostic" qui à une situation donnée associent des causes éventuelles et dont on tirera partie dans des raisonnements abductifs. Dans chaque cas les poids intervenant dans ces règles correspondent à des notions différentes et doivent a priori être manipulés différemment, même à l'intérieur d'un même cadre mathématique tel que celui des ensembles flous.

Les mécanismes inférentiels mis en œuvre dans un système expert flou vont en général bien au-delà de l'interpolation pratiquée dans les systèmes de commande floue, dans la mesure d'ailleurs où les relations liant les variables en parties conditions et les variables en parties conclusions de règles, ne sont plus en général "continues", comme dans le cas de la commande de processus, ne serait-ce que parce que les domaines des variables considérées dans les systèmes experts flous peuvent être discrets (nombre fini, voire petit, d'éléments) et non-ordonnés.

En dehors des systèmes à règles "si... alors" traitant la gradualité, l'imprécision et l'incertitude dans le cadre des ensembles flous et de la théorie des possibilités, il existe de nombreux travaux dans le monde se rattachant à ce cadre théorique ([10][18][30] par exemple) visant à raisonner de manière automatique à partir de clauses incertaines (présentant éventuellement des prédicats vagues), les clauses à la différence des règles "si... alors" étant non-orientées.

Soulignons également l'existence de travaux en matière de systèmes d'interrogation de bases de données par des requêtes permettant l'expression de préférences graduelles, ceci permet de classer les réponses selon leur degré d'adéquation à la requête ; par ailleurs de tels systèmes peuvent autoriser la présence dans la base de données d'informations partielles, voire vagues ou incertaines. Le lecteur pourra se reporter par exemple aux numéros spéciaux de la revue Information Systems [13] qui paraît à la fin 1989 ou du bulletin IEEE Data Engineering paru cet été [29], le premier étant exclusivement consacré à l'approche floue, le second partiellement.

Visites effectuées

1 - Tokyo Institute of Technology

Personne rencontrée : Professeur M. Sugeno, Laboratoire de "Théorie des Systèmes", Département de Science des Systèmes

Description des activités

Le Prof. Sugeno dirige le Laboratoire¹ "Théorie des Systèmes". Il travaille dans le domaine des ensembles flous depuis la première moitié des années 70. Depuis très longtemps son intérêt se concentre autour de deux sujets : 1) les "mesures floues" (qui portent maintenant son nom, et qui sont des fonctions d'ensembles monotones particulières pour lesquelles il a introduit une intégrale originale, qui peut être vue comme une transposition de l'intégrale de Lebesgue dans le cadre des ensembles flous) ; 2) la théorie et les applications de l'approche ensemble flou appliquée à la commande de processus continus.

En ce qui concerne les mesures floues, outre ses recherches sur les liens avec l'intégrale de Choquet [31], le Prof. Sugeno, avec l'aide de son assistant le Dr. Murofushi et de deux étudiants, travaille sur les applications des intégrales floues aux problèmes d'évaluation subjective. Il a en vue une application à l'évaluation de la qualité de reproduction papier d'images couleur (qualité de la couleur, critères esthétiques, ...).

En matière de contrôle flou, les intérêts théoriques du Prof. Sugeno se concentrent autour de la modélisation des systèmes flous, l'étude de la stabilité de l'ensemble "système + commande floue", et du développement de techniques d'apprentissage permettant d'acquérir les règles d'une commande floue (un étudiant en thèse). Sur ce dernier point le Prof. Sugeno n'envisage pas pour le moment d'utiliser des réseaux neuronaux, dans la mesure où l'information à prendre en compte n'est pas simplement numérique mais est exprimée linguistiquement par un expert humain (le résultat de l'apprentissage doit être une partition *floue* des domaines des variables d'entrée et de sortie du système de commande).

L'application que le Prof. Sugeno utilise actuellement pour l'expérimentation (avec deux étudiants sur un projet de 4 ans) de ses idées est le contrôle de la stabilisation en régime

1. Dans les universités japonaises, un "laboratoire" se compose généralement d'un professeur, d'un ou deux assistants ("Maîtres de Conférence"), de quelques étudiants en thèse, et d'étudiants en maîtrise, ces derniers souvent un peu plus nombreux.

stationnaire d'une maquette d'hélicoptère. Rappelons qu'au milieu des années 80, le Prof. Sugeno et ses étudiants avaient réussi à contrôler un modèle réduit de véhicule [40] à la fois en déplacement (suivi d'itinéraires sinueux) et en manœuvres (parking). Ce nouveau problème a été choisi pour sa difficulté, d'autant plus grande qu'il ne semble pas possible d'avoir d'informations précises sur certaines des variables intervenant a priori dans la commande. En outre à long terme il est envisagé une commande vocale par instructions linguistiques de l'hélicoptère en déplacement ; ceci se rattache aux nouvelles préoccupations (exécution d'instructions floues) du Prof. Sugeno citées plus loin ; voir aussi [41].

Plus récemment (depuis environ un an), le Prof. Sugeno s'est également intéressé à deux autres sujets :

- 1) la prédiction du mouvement d'un objet rapide (balle de ping-pong, ...), en traitement d'image (déterminer notamment, à l'aide d'inférences floues, la position finale d'un objet en mouvement (par exemple pour l'attraper) ; il espère ainsi rendre compatible la vitesse de traitement et la vitesse de l'objet,
- 2) la modélisation linguistique de systèmes (deux étudiants en maîtrise) : passer d'un niveau numérique à un niveau symbolique de description, et exécution d'algorithmes flous [41] (simulation de modèles linguistiques). A long terme il souhaite rapprocher langage de programmation et langage naturel.

Par ailleurs, ces dernières années, le Prof. Sugeno a collaboré avec une petite dizaine d'entreprises privées. Citons parmi les plus anciennes : un système de purification de l'eau [54] (développé par Fuji electric comp.), la commande de véhicule [40] et parmi les plus récentes : un système de commande de la température et du débit de l'eau dans une salle de bain (en collaboration avec Matsushita, voir plus loin), le contrôle de la vitesse d'un véhicule en virage et/ou en pente (en collaboration avec Nissan, dans ce cas un système d'auto-apprentissage s'avère nécessaire à cause des différents états de charge possibles d'une voiture par exemple), et encore le perçage de tunnels (conduite 3D de la machine à percer dans un tunnel ferroviaire à Tokyo), sans oublier, du côté des systèmes experts, un système de gestion de porte-feuilles boursiers (Yamaichi ; voir p. 16).

Discussion

Sur le plan scientifique, la discussion a porté sur les mérites respectifs des contrôleurs flous et des contrôleurs classiques (PID) : pour le Prof. Sugeno les premiers sont

particulièrement recommandés pour les processus à changements rapides tandis que les seconds sont efficaces pour le contrôle autour d'états d'équilibre, les deux pouvant être utilisés conjointement. En matière de systèmes experts, il est convaincu de la nécessité d'utiliser une approche floue, mais il recommande de travailler avec un exemple réaliste d'application en référence (par exemple problèmes de diagnostic de pannes en usine). Le Prof. Sugeno explique le succès du flou au Japon, tant sur le plan des applications que sur le plan médiatique, par i) le choix pertinent des applications, ii) la qualité et le pragmatisme des ingénieurs de R & D industriels dans ce pays et iii) l'accord naturel de l'approche floue avec le mode de penser japonais. Il cite encore des applications (dans lesquelles il n'a pas pris de part active), par exemple, le contrôle de la ventilation dans les tunnels, la mise au point automatique (y compris en contre-jour) pour des appareils photos (Sanyo, et Canon [37]), un problème de contrôle de tension électrique (Fuji), Par ailleurs il souligne le grand écho de ces applications et de l'idée de flou dans la grande presse japonaise (articles quasi-journaliers) et dans l'édition. En effet à côté de nombreux (8) livres techniques en japonais, il existe aussi des livres de vulgarisation destinés au grand public cultivé (7). Le tirage de plusieurs de ces livres dépasse les 10 000 exemplaires. Signalons aussi qu'une société savante purement japonaise sur les systèmes flous vient d'être créée, (à côté de la société internationale IFSA déjà existante) qui s'appelle SOFT (pour SOciety of Fuzzy Theory systems) ; elle éditera une revue trimestrielle en japonais dont le premier numéro sortira prochainement.

Projet de l'AST

Enfin, le Prof. Sugeno nous présente le programme d'un projet : "Fuzzy Systems Research Project", lancé cette année par l'Agence pour la Science et la Technologie (AST) (rattachée au cabinet du premier ministre japonais), qu'il a largement contribué à mettre sur pied. Il s'étalera sur une période de 5 ans (avec bilan au bout de 3 ans). Il regroupe 6 universités, 7 laboratoires nationaux et 5 compagnies privées (dont le groupement LIFE, voir plus loin) ; il est doté d'un budget de 8 millions de dollars pour 5 ans. Il est structuré en trois pôles :

Pôle 1 : Aspects Théoriques de Base :

Logique floue (Resp. Prof. Mukaidono), algorithmique floue (Resp. Prof. Umano), langages de programmation flous (Resp. Profs. Umano et Togai), architectures d'ordinateurs flous (Resp. Prof. Togai), mémoires floues (Resp. Prof. Yamakawa) ;

Pôle 2 : Ingénierie floue et interface homme/machine :

Contrôle de systèmes instables, à vitesse rapide (par ex. hélicoptères) ; commande de systèmes non-structurés (type bio-chimie par exemple) ; compréhension temps réel d'images (y compris dans ses implications matérielles) ; reconnaissance de caractères écrits à la main (avec la participation d'Omron) ; modélisation d'organes sensitifs humains (en collaboration avec Rikken) ; interface homme-machine pour des applications à des problèmes de la vie journalière (avec la participation de Kawasaki) ; interface homme-machine pour les systèmes instables, à vitesse rapide ;

Pôle 3 : Modélisation des systèmes flous :

- Systèmes de traitement d'informations d'origine humaine (Resp. Dr. Takagi, LIFE) : systèmes d'évaluation intelligent ; systèmes flous de recherche d'information (intérêt de Matsushita) ; mécanismes associatifs
- Systèmes environnementaux : prédiction des tremblements de terre ; modélisation de la pollution de l'air ; modélisation de la croissance végétale.

Ce projet de l'AST donnera lieu à une conférence nationale annuelle (en plus de deux conférences internationales sur le flou prévues au Japon en 1990 et 1991, voir Annexe 2).

2 - Hitachi : Laboratoire de Développement des Systèmes (à Kawasaki)

Personnes rencontrées : MM. R. Uyeda, K. Nakao, S. Miyamoto, I. Matsuba, K. Matsumoto

Après une présentation générale de l'entreprise, nos interlocuteurs nous dressent un historique de leur expérience en matière d'application du flou, dont le début remonte à 1978-1979. Leur première réalisation importante en matière de commande floue, très souvent donnée en exemple, est le métro de Sendai mis en service en 1986. La mise au point de cette application a nécessité 4 ans de travail après deux ans d'étude préliminaire de la méthodologie et la définition d'une approche particulière : la commande floue prédictive (voir Introduction p. 6). Parmi leurs autres réalisations il faut citer la commande d'un système de chargement/déchargement d'objets très lourds, le contrôle de la ventilation d'un tunnel, la supervision d'un ensemble d'ascenseurs. Leurs futures applications concernent en matière de commande floue, la commande de trains, de monte-charges et en matière de systèmes experts, un système de sécurité de placements financiers.

Quatre "demos" nous ont été ensuite présentées :

* *train de Sendai* [65] (simulation et vidéo de la réalisation)

Il semble qu'une comparaison poussée [65] ait été entreprise avec une commande de type PID et que la commande floue permette, nous dit-on, une amélioration du confort du voyageur, de la précision d'arrêt (portée à moins de 2 cm) et une économie d'énergie de l'ordre de 10 %).

* *système de chargement* [64] (présenté en simulation)

Le problème principal semble être d'éviter le balancement de la charge (y compris en cas de vent), les amplitudes de balancement ont pu être divisées par 10 par rapport à un contrôle manuel, grâce à la commande prédictive floue et ainsi ramenées à des amplitudes quasi-insignifiantes. Comme dans le cas précédent, l'implémentation de la commande floue n'a pas nécessité de matériel spécifique. Ce système est utilisé en pratique.

* *système expert financier* [21]

Une étude en cours nous est présentée ; elle concerne la gestion de porte-feuilles boursiers (choix de titres à acheter). Elle s'appuie sur la transposition dans ce domaine des techniques générales de commande floue. L'exemple présenté comporte une dizaine de règles à conclusions floues qui sont combinées et "défuzzifiées" pour élaborer la conclusion finale. Les règles ne peuvent être enchaînées ; elles nécessitent des informations précises pour être déclenchables.

* *réseaux neuronaux en gestion financière*

On nous montre comment une approche "neuronale", basée sur le recuit simulé [27][28] permet d'optimiser la composition d'un porte-feuille. Il s'agit ici encore d'une étude qui débute. Il semble que pour le moment l'objectif soit plutôt de comparer les approches "commande floue" et "réseau neuronal" que de les utiliser conjointement. Il n'en est pas nécessairement de même au Laboratoire de Recherche Centrale d'Hitachi où on développe par exemple un système de reconnaissance de la parole, et où les deux méthodologies sont utilisées de façon complémentaire [1].

N.B. : Par ailleurs, la brochure de ce laboratoire de R & D mentionne explicitement le projet d'un environnement de développement de systèmes experts ayant entre autres des capacités de raisonnement flou, de raisonnement par défaut et de raisonnement qualitatif.

3 - Yamaichi Securities (Financial Strategy Department, Tokyo)

Personne rencontrée : M.B. Kaneko

Cette société de gestion de titres, vient de mettre au point, pour son usage interne (gestion de porte-feuilles de clients qui le souhaitent) un système expert visant à déterminer les dates d'achat et de vente de titres. Le système n'est en service que depuis début septembre 1989 et ne fonctionne que pour quelques "gros" clients (totalisant plusieurs milliards de yens). Il est donc trop tôt pour conclure sur l'efficacité du système même si de nombreuses simulations rétrospectives ont montré que le système se serait en général bien comporté sur des situations passées.

Le système gère 1 100 titres soit la totalité du "1er marché" de la bourse de Tokyo. Il comporte 600 règles portant sur une centaine de variables élaborées à partir de la connaissance des experts de la société. Ces règles se composent de 3 ou 4 voire 5 conditions élémentaires mettant en jeu des prédicats flous et d'une conclusion floue sur un univers discrétisé ("grande vente", "vente moyenne", "vente faible", "attente", ..., "grand achat"). Comme dans un système de commande floue (type Mamdani) les conclusions des règles applicables à un titre sont combinées puis "défuzzifiées" (méthode du centre de gravité). Les règles ne s'enchaînent donc pas sauf pour quelques règles non encore utilisées dont la partie conclusion ferait référence à des décisions antérieures (plusieurs jours avant). Même en cas de conclusions conflictuelles issues de différentes règles la méthode du centre de gravité semble être utilisée, quoique l'utilisateur en soit averti. Il n'est pas clair s'il y a renforcement de la conclusion quand plusieurs règles concluent dans le même sens.

Le développement de cette application s'est fait sur 3 ans et a requis une demi-douzaine d'ingénieurs sans compter les experts nombreux qui ont apporté la connaissance du système. M. Kaneko estime que 20 % du marché des titres au Japon est actuellement géré par des systèmes experts et qu'à terme on devrait atteindre 50 % avec un recours de plus en plus fréquent à des systèmes expert flous. Il croit savoir que deux ou trois systèmes similaires sont en cours d'étude au Japon.

4 - Université Hosei (Tokyo)

Personne rencontrée : Dr. K. Hirota

Description des activités

Le Dr. Hirota travaille au département d'instrumentation et ingénierie du contrôle où il anime le laboratoire de "Système d'information avancée", qui comporte outre lui-même, six étudiants en thèse ou en maîtrise, deux visiteurs chinois et une personne venant de l'industrie. Le Dr. Hirota travaille sur les ensembles flous depuis une bonne dizaine d'années, a introduit et développé la notion d'ensemble flou probabilisé (la fonction caractéristique de l'ensemble flou est bruitée) et s'est intéressé à de nombreuses applications notamment en commande robotique. Ses thèmes de recherche actuels sont : les systèmes de commande floue, le traitement d'image et la reconnaissance des formes, la robotique "intelligente", les systèmes experts et les aspects liés à la conception du matériel, tous ces thèmes étant étudiés sous l'angle de l'approche floue. En dehors de ses activités de recherche, le Dr. Hirota déploie une grande énergie pour faire connaître les ensembles flous et leur intérêt tant au niveau de l'enseignement universitaire que de celui de la sensibilisation des industriels. Outre son enseignement à l'université, il a mis sur pied un cours d'enseignement par correspondance et des logiciels d'enseignement (le système FUZZY CAI (Fuzzy Computer Aided Instruction) a été vendu en 600 exemplaires en quelques mois) ; il a aussi préparé une dizaine de numéros spéciaux de journaux professionnels consacrés à la commande floue. Le Dr. Hirota a insisté sur les efforts déployés par lui et ses collègues entre 1985 et 1987 pour sensibiliser les industriels à la commande floue. De plus, l'activité de sensibilisation à la méthodologie floue du Dr. Hirota s'étend maintenant jusqu'en Corée et à Taiwan.

Le Dr. Hirota a des activités de conseil auprès de six compagnies privées ; d'ailleurs, certaines des démos qu'il nous a montrées sont le résultat d'une collaboration avec un industriel : six réalisations ou travaux en cours nous sont présentés :

- Un logiciel d'accompagnement de FUZZY CAI permet à l'utilisateur, en simulation, de réaliser son propre système expert flou et de le tester. Deux problèmes sont considérés : la purification de l'eau (inspiré du travail de l'équipe du Prof. Sugeno [54]) et la commande d'une mongolfière pour la faire atterrir à un endroit donné !
- activité système expert : un petit système expérimental manipulant seulement des degrés, combinés dans le cadre de la logique floue nous est montré ; le Dr. Hirota nous indique vouloir se tourner à l'avenir vers les systèmes experts flous.

- unité de mémoire floue : il s'agit de réaliser des bascules capables de mémoriser des informations floues. Le Professeur Hirota a choisi de réaliser une bascule floue qui est une extension de la bascule JK digital, et ses étudiants malgré un manque de moyens techniques ont effectué une réalisation pour chacun des types de codage (mode courant, mode voltage et codage digitalisé). Ces réalisations sont en circuits discrets ou MSI [19].
- prédiction de la position future d'objets mobiles : il s'agit d'un travail expérimental mené en coopération avec Fuji electric dans le cas d'une balle de golf roulant dans une cuvette dont le fond tressaute. Un système de dix huit règles floues relie des variables, telles que vitesse et distance au centre de la cuvette (en partie condition), à la position 2D de la balle (en partie conclusion).
- fuzzy C compiler : il s'agit de la réalisation d'un compilateur pour une extension du langage C développé par Togai InfraLogic Inc. (30 Corporate Park, Suite 315, Irvine, CA 92714, U.S.A.) qui a un bureau au Japon, facilitant la programmation de systèmes de commande à règles floues (traitées par la méthode de Mamdani et à défuzzification par la méthode du centre de gravité). Le programme initial est traduit en langage C classique dont la compilation produit un simulateur du système de commande.
- station de développement de systèmes de commande floue produite par MYCOM (Kyoto) [3]. Cette station est composée de trois éléments : ordinateur hôte type PC.AT et son logiciel d'application pour définir un système de règles floues, un boîtier de communications et de mise en forme et le contrôleur flou lui-même. Celui-ci a des capacités limitées : 16 bits d'entrée, 8 bits de sortie, ce qui pour un codage digitalisé sur 4 bits permet d'avoir 4 variables observées et 2 variables de commande. Les règles sont stockées en mémoire ROM, et leur nombre est quasi illimité (notion de mémoire virtuelle). Le boîtier contrôleur est muni d'une batterie et peut fonctionner en autonomie, après la mise au point avec la station de développement. Ce système est commercialisé par MYCOM, et semble connaître un certain succès.

Discussion

Une discussion d'ordre général sur l'évolution du flou au Japon a clôturé la visite. Le Dr. Hirota souligne la place prépondérante de la commande floue dans les réalisations japonaises en cette matière. Tout en se félicitant des très bonnes relations qu'il a avec les industriels, il est convaincu de la nécessité d'ouvrir le spectre des études à des applications autres que la commande de processus et de développer de manière générale l'étude des systèmes experts flous.

5 - Université Meiji (Tokyo)

Personne rencontrée : Professeur M. Mukaidono

Description des activités

Le Prof. Mukaidono dirige le laboratoire de "Sciences des systèmes" du Département d'Informatique. Il est de plus responsable en chef du Centre de Calcul de l'Université Meiji qui comporte trois campus. Le Prof. Mukaidono a commencé ses travaux sur les ensembles flous dans la seconde moitié des années 70. Il a beaucoup contribué à l'étude de la logique de commutation floue et sur ses capacités à la détection d'aléas. Depuis le milieu des années 80, le Prof. Mukaidono a développé des systèmes de raisonnement automatisé manipulant des logiques floues (appelés communément "fuzzy PROLOG"). Ses thèmes de recherche passés et présents ayant un rapport avec les ensembles flous concernent les logiques et les algèbres multivalentes, la mise au point de méthodes de raisonnement flou fondées sur des mécanismes de type résolution et leur mise en œuvre. Il s'intéresse à des applications en représentation des connaissances et en reconnaissance de caractères manuscrits. Son équipe compte un assistant plutôt orienté vers la conception assistée de systèmes tolérants aux fautes et une demi-douzaine d'étudiants en maîtrise et en thèse travaillant à la mise en œuvre de systèmes de raisonnement flou. Par ailleurs il a des contacts, avec quelques uns de ses collègues de l'Université Meiji s'intéressant à l'approche floue pour le contrôle ou dans les modèles économiques. La première version [30] de "fuzzy PROLOG" développé par le Prof. Mukaidono et ses étudiants permet la manipulation de clauses de Horn auxquelles sont attachés des degrés de vérité. Elle est basée sur une extension d'une approche proposée dès 1972 par R.C.T. Lee [23] pour la résolution en logique floue. Les prédicats flous peuvent être cependant traités en les discrétisant et en leur associant des n-uplets de clauses représentant les paires <élément, degré de vérité>. Ce genre de système semble particulièrement adapté à la gestion de degrés de vérité de propositions floues en référence à des états de connaissances précis. Une première mise en œuvre de ce système s'est révélée très lente d'où l'écriture d'une version en C plus efficace. La mise au point d'une nouvelle version du principe de résolution en logique floue [8] permettant la prise en compte de clauses générales devrait conduire à une nouvelle implémentation dans un proche avenir. De plus, le Prof. Mukaidono développe un nouveau système appelé PROFIL (PROLOG based on Fuzzy Interval Logic) [20] basé sur un calcul permettant de prendre en compte des clauses évaluées par des intervalles plutôt que par des valeurs scalaires. L'intervalle se veut un outil pour prendre en compte la mauvaise connaissance éventuelle que l'on a du degré de vérité d'une clause. Par ailleurs dans PROFIL, un autre calcul s'efforce de gérer l'inconsistance. Un système expérimental de reconnaissance de caractères manuscrits, écrit en PROFIL, nous est montré. Il se fonde sur une représentation des caractères sous forme d'une

suite de segments de droite. Plusieurs niveaux de représentation sont possibles selon le nombre de segments utilisés. Une évaluation numérique de l'appariement entre la représentation sous forme de segments du caractère à reconnaître et la représentation semblable des modèles en mémoire, est calculée par le système. Ceci permet de situer le caractère à reconnaître (s'il est ambigu) par rapport à plusieurs caractères standards auxquels on associe un degré de possibilité.

Discussion

Selon le Prof. Mukaidono, il y a eu essentiellement jusqu'à présent deux groupes appliquant les ensembles flous au Japon : d'une part les gens ayant travaillé sur les systèmes de commande floue avec le succès que l'on sait et un plus petit groupe de gens (dont des représentants sont les Professeurs Asai et H. Tanaka à Osaka) qui ont développé des applications en recherche opérationnelle qui pour le moment n'ont pas connu le même impact. Le Prof. Mukaidono appartient à une discipline différente : l'informatique. Pour lui, la méthodologie des systèmes de commande floue repose davantage sur une solide pratique expérimentale que sur une théorie. Il pense que le simple transfert de cette méthodologie à des domaines étrangers à la problématique de la commande automatique, tels que la sécurité financière, devrait s'avérer bientôt insuffisante pour faire face aux besoins des applications. Il recommande donc de développer davantage des bases théoriques pour concevoir et implémenter des systèmes experts flous (où, par exemple, l'enchaînement de règles ne pose pas de problèmes). Le Prof. Mukaidono est conscient qu'un effort considérable et de longue haleine est nécessaire afin d'intéresser au flou une partie importante de l'informatique japonaise, comme l'est déjà le milieu des ingénieurs en commande et instrumentation. La communauté informatique dans ce pays, dans sa grande majorité, ignore pour le moment les ensembles flous (c'est le cas en particulier des gens proches du projet ICOT, et si on excepte toutefois des applications à l'informatique documentaire, à la reconnaissance des formes, ...).

6 - LIFE (Yokohama)

Personnes rencontrées : M. M. Nakayashiki, Profs. T. Terano, M. Sugeno, MM. I. Fujimori, T. Yamanaka, T. Takagi, T. Yamaguchi

Créé à l'initiative du MITI (Ministry of International Trade and Industry), LIFE (Laboratory for International Research on Fuzzy Engineering) est financé à égalité par des fonds publics et des fonds privés provenant des 48 compagnies participant à ce laboratoire.

Parmi ces compagnies, on note la présence de Hitachi, Toshiba, Matsushita, Toyota, Japan Steel, NTT, Canon, Thomson-Japon, IBM-Japon. Le budget global est de 40 millions de dollars pour une période de 6 ans allant d'avril 89 à mars 1995. LIFE peut, dans une certaine mesure, être comparé à l'ICOT en notant cependant deux différences : un budget quatre fois moindre et des sources de financement mixtes alors que l'ICOT est financé en totalité par des fonds publics. Les compagnies qui contribuent à LIFE ont la possibilité d'y détacher certains de leurs ingénieurs de recherche qui constituent ainsi l'essentiel du personnel de LIFE qui, devrait passer de 22 actuellement à une trentaine puis une quarantaine ; seuls, les Prof. Terano (Université Hosei), Sugeno, et un professeur étranger qui sera invité, ont une origine autre qu'industrielle. Nos interlocuteurs insistent sur le caractère international de LIFE, mentionnant des contacts avec la NASA, mais reconnaissant que le protocole de coopération avec des organismes de recherche étrangère n'est pas encore précisément défini.

LIFE est organisé en trois laboratoires : le laboratoire n° 1 traite de la commande floue ("Fuzzy Control"), le laboratoire n° 2 s'intéresse au traitement d'informations d'origine humaine ("Intellectual Information Processing") et le laboratoire n° 3 est dédié au calculateur "flou" ("Fuzzy Computer").

Le laboratoire n° 1 est dirigé par le Dr. Yamanaka, qui vient de la société Omron, et comporte actuellement 9 personnes. Le champ d'activité de ce laboratoire se caractérise par le tableau ci-dessous (traduit avec l'aide de nos interlocuteurs d'un document japonais) :

applications outils	systèmes flous "coopératifs" (ex. robots ménagers)	gestion de centrales nucléaires et autres grands systèmes industriels
modélisation	<ul style="list-style-type: none"> • modélisation des objectifs • modélisation de la commande 	<ul style="list-style-type: none"> • décomposition en espace d'états • évaluation multicritères • modélisation par séries temporelles
méthode de raisonnement	<ul style="list-style-type: none"> • raisonnement multicouche • algorithme de décision pour robot • prise en compte du raisonnement de l'utilisateur 	<ul style="list-style-type: none"> • raisonnement multivariables • commande de processus • système de supervision
aspects adaptatifs et apprentissage	<ul style="list-style-type: none"> • auto-réglage • contrôle adaptatif • acquisition automatique de fonctions d'appartenance 	<ul style="list-style-type: none"> • structuration • commande prédictive
analyse de stabilité	<ul style="list-style-type: none"> • système d'évaluation 	<ul style="list-style-type: none"> • outils d'évaluation

Le laboratoire s'intéresse de façon particulière à l'utilisation conjointe des ensembles flous et des réseaux neuronaux, voulant allier les capacités de représentation des uns aux facultés d'apprentissage des autres. Ces préoccupations sont illustrées par un exposé du Dr. Yamaguchi [57] qui applique une association des deux approches à un problème de commande d'un groupe d'ascenseurs [55], [56].

Le laboratoire n° 2, sous la responsabilité du Dr. Takagi (venant de Matsushita), comprend actuellement huit chercheurs qui développent des applications mêlant les ensembles flous et les techniques d'intelligence artificielle. Trois principaux thèmes de recherche sont affichés : 1) la compréhension d'images, où le flou peut intervenir, selon LIFE, dans la description de régions à frontières imprécises, dans l'appréhension d'informations bruitées, dans la fusion d'informations fournies par des capteurs, dans le traitement synthétique et parallèle de grandes quantités de données, dans la représentation et l'usage de connaissances humaines, quand cela s'avère nécessaire ; 2) les systèmes d'aide à la décision : les aspects flous sont dans ce cas les suivants : utilisation conjointe d'informations linguistiques et numériques, représentation qualitative d'origine humaine et représentation du savoir des experts ; les applications semblent essentiellement orientées vers les domaines financiers comme la prévision de taux de change ; 3) les systèmes experts flous : il s'agit de développer des moteurs d'inférence à utiliser dans les deux premiers types d'application ; la première version d'un moteur d'inférence nommé FES est en cours de réalisation.

Le laboratoire n° 3 est dirigé par le Dr. Yasunobu venant d'Hitachi, et comporte cinq chercheurs actuellement. Son but semble être la spécification de ce que peut être un ordinateur flou à la fois sur les plans langage, architecture et matériel. Il s'agit de se rapprocher des capacités humaines pour la manipulation efficace de grandes quantités d'informations vagues au moyen de techniques de raisonnement appropriées en disposant d'une interface utilisateur de type langage naturel. Des éléments d'un tel ordinateur (par exemple des "chips" pour des procédures d'inférence floue) pourraient être rapidement réalisés.

Compte tenu de la jeunesse du projet, il est probable que certains des objectifs seront précisés ou redéfinis à moyen terme. Il est donc difficile pour le moment de se faire une idée définitive de ce que LIFE produira réellement. A l'heure actuelle, LIFE semble être un projet très ambitieux qui sera sans doute modulé par le pragmatisme des ingénieurs qui en composent la majorité du personnel. Il semble en effet que dans LIFE la réalisation d'applications pilotes, en complétant la méthodologie de la commande floue puisse éventuellement prendre le pas sur la mise au point de méthodes générales plus pointues.

7 - Omron Tateisi Electronics (Laboratoire Central de Recherche & Développement, Tokyo)

Personnes rencontrées : M.M. T. Ichihara, M. Ohyagi, K. Takata, K. Urasaki, T. Sogo

La Société Omron est spécialisée dans la réalisation d'automatismes (pilotage d'ateliers automatisés, mesures pour le contrôle de la circulation automobile, lecteurs optiques, monétique, ...). La société Omron a de nombreuses filiales dans le monde, dont une filiale française.

Cette société s'intéresse au flou depuis 1984. Les études concernent deux axes :

- la commande floue, pour laquelle un ensemble impressionnant de matériels et logiciels est commercialisé,
- le raisonnement flou : un système expert dans le domaine médical a été développé, et cette activité devrait s'étendre.

Les succès antérieurs ont mené à la création d'un groupe spécifique au sein de la société Omron "centre de promotion des technologies floues" en octobre 1989. Ce centre regrouperait 30 personnes environ. Ce centre revêt une grande importance puisqu'on nous dit que l'objectif est que dans cinq ans 20 % des produits commercialisés par Omron utilisent du "flou".

Matériels et logiciels pour le contrôle flou

Les produits commercialisés sont présentés dans le tableau p. 25 (fourni par Omron).

Il s'agit de [36][42] :

- 3 logiciels, s'exécutant sur une station de travail : FT 6100, FS 2000, FS 7000,
- 3 machines de contrôle flou FZ 5000 et FS 3000 et 3010 (développées avec les conseils du Prof. Yamakawa).

Les logiciels permettent la mise au point d'applications de la commande floue. FT 6100 ne permet que de mettre en œuvre la méthode proposée par Mamdani et rappelée en introduction, avec défuzzification par la méthode du centre de gravité, tandis que FS 2000 et FS 7000 offrent une variété de techniques pouvant recourir à des implications multivalentes plutôt qu'à une conjonction pour relier conditions et conclusions de règles. Dans le logiciel FS 7000, les règles décrites sont compilées en langage C, ce qui permet une exécution

OMRON Fuzzy Controllers and Softwares

Model	No. of Inputs	No. of Outputs	No. of Rules	Inference Method	Defuzzify Method	Response Time	Programming	Size	Price
FZ-5000	16	1 Per D Board	Max, 44 3 Antecedent 1 Consequent	MAX-MIN Logical Product (Max/Min LP)	Center of Gravity (CG)	15 μ S for 40 Rules	·Manual ·Programming Console (VIA CPU Board)	W 482.6 H 286 D 260 mm	3,000K Yen
FZ-3000 3010	8	2	Max, 128 5 Ant. 2 Consq.	Same as above	Same as above	4~5 ms for 40 Rules	·Programming Console (PC9801 + FT-6100)	FZ-3000 W 55 H 250 D 200	500K Yen
FT-6100	8	2	Max, 128 5 Ant. 2 Consq.	Same as above	Same as above	400 ms for 40 Rules	Keyboard and Mouse (PC9801)	—	250K Yen
FS-2000	16	2	Max, 128 6 Ant. 2 Consq.	5 ways ·Max, Min/LP ·Max, Min/ Arith-metic Product etc.	3 ways ·CG ·Center of Area ·Height	400 ms for 40 Rules	Keyboard and Mouse (PC9801)	—	300K Yen
FS-7000	32	16	Max, 300 6 Ant. 2 Consq.	5 ways Same as above	3 ways Same as above	80~120 ms for 40 Rules	Keyboard and Mouse (Mr., LUNA)	—	600K Yen

K = 1000

beaucoup plus rapide. Ces trois logiciels utilisent toutes les ressources des interfaces modernes (tracé graphique des fonctions caractéristiques, icônes, ...). Il faut noter qu'aucun contrôle de cohérence des données entrées n'est effectué : c'est la responsabilité de l'utilisateur, tout comme le choix de la méthode d'inférence floue à mettre en œuvre.

Le "contrôleur" flou FZ 5000 se présente sous la forme d'un rack de cartes format double Europe et fonctionne en codage en voltage sur 25 lignes. Le système comporte un processeur classique, un bus digital type VME et un bus analogique. Un rack comprend :

- une carte processeur,
- une carte de défuzzification par variable contrôlée (circuits analogiques bipolaires montés sur céramique),
- des cartes d'inférence floue (11 au maximum) chacune pouvant implémenter jusqu'à 4 règles. Une règle est traitée par un circuit spécialisé, de type bi-CMOS analogique si elle a au plus 3 antécédents. On peut regrouper deux circuits pour traiter des règles à 6 antécédents.

Les entrées et sorties du système sont analogiques, et le temps de cycle est de 15 μ s.

Les contrôleurs flous FZ 3000 et 3010 sont beaucoup moins encombrants et sont programmés via un PC (un même PC peut commander jusqu'à 32 contrôleurs flous). Une fois le système de règles mis au point à l'aide du logiciel FT 6100, ces contrôleurs flous peuvent fonctionner en autonome (le boîtier inclut une batterie). Ces contrôleurs utilisent un codage digitalisé et sont composés d'un processeur type 68000 qui contrôle les entrées/sorties (analogiques entre -5V et +5V) et d'un processeur DSP classique qui effectue les inférences floues et la défuzzification. On obtient un temps de cycle de l'ordre de 5 ms (300 fois plus long que précédemment). Les deux types de contrôleurs flous n'implémentent que la méthode de Mamdani, mais le nombre d'éléments de l'univers du discours et la forme des fonctions caractéristiques sont programmables.

Une centaine de contrôleurs flous par mois sont produits actuellement. Il faut noter que durant l'année 1988 la société Omron commercialisait un autre type de contrôleur flou, le FZ 1000, qui utilisait un codage en courant. Ce contrôleur, très rapide (temps de cycle de l'ordre de 3 μ s) était extrêmement cher (4,8 millions de yens pour 10 règles). Une centaine d'exemplaires ont été vendus, mais la production est arrêtée.

Au cours de la discussion, il est apparu qu'en ce qui concerne les contrôleurs flous, un matériel spécialisé est nécessaire (type FZ 3000), mais il n'est pas indispensable de concevoir des circuits spécialisés (type FZ 5000), car peu d'applications nécessitent une telle rapidité (la puissance de calcul du FZ 1000 n'a, semble-t-il, jamais été nécessaire). Cette remarque ne doit

cependant pas être étendue aux ordinateurs flous, spécialisés dans le raisonnement flou qui nécessite sans doute une plus grande puissance de calcul.

Pour l'ensemble des produits (matériels et logiciels), il semble que les acheteurs sont :

- les départements applications de Omron à 30 %,
- des clients extérieurs à 70 %.

Les applications actuellement réalisées sont du type commande de robot, contrôle de positionnement pour la fabrication de circuits intégrés, localisation d'objet mobile (suivi d'un objet volant par une caméra) ; cette dernière application sert à des démonstrations et a été présentée au SITEF 89 à Toulouse.

Raisonnement flou

Cet axe s'appuie sur le système expert flou médical déjà réalisé (300 symptômes possibles en entrée, 300 maladies traitées). Ce système semble permettre l'usage de différentes sortes d'implications avec des entrées et sorties non-floues, mais ne permet pas d'enchaîner les règles.

Il semble qu'à moyen terme l'objectif soit de développer un moteur d'inférence flou permettant l'enchaînement de règles, les applications envisagées étant, outre le diagnostic médical, la planification et l'ordonnancement. La Société Omron est conseillée par le Prof. Hayashi (Ibaragi University) en matière de système expert flou.

8 - MATSUSHITA ELECTRIC : Laboratoire Central de Recherche (Osaka)

Personnes rencontrées : MM. Y. Fujiwara, S. Moriyama, N. Wakami, I. Hayashi, K. Ueki & Dr. M. Umano (Université d'Osaka)

Le nom de cette société est celui du créateur de l'entreprise (qui est née en 1918) et si ce nom ne nous est pas nécessairement familier, les marques qu'il représente (National, Technics et Panasonic notamment) sont beaucoup plus connues. Nous avons visité le Laboratoire Central de Recherche qui se charge des recherches les plus fondamentales (incluant celles sur les techniques liées aux ensembles flous), alors que chacun des sept domaines d'affaires de la société a un laboratoire de recherche et développement plus spécifique.

Comme dans LIFE, trois axes d'étude sont présents : i) les applications de la commande floue, ii) le traitement d'informations fournies par des humains, iii) les calculateurs flous. Le premier axe mentionné est étudié de longue date et correspond au domaine le mieux maîtrisé dans cette société. Pour ce qui est des deux autres, nos interlocuteurs ont cité plusieurs domaines (traitement de la langue naturelle, bases de données, systèmes d'aide à la décision, reconnaissance des formes, moteurs d'inférence cablés, systèmes flous de recherche d'information –participation active au projet de l'AST (cf. pp. 14-15 sur ce dernier point)) dans lesquels ils souhaitaient introduire les ensembles flous dans un proche avenir. Cette volonté se traduit par le détachement de deux ingénieurs dans LIFE (Laboratoires n° 2 et n° 3), dont le responsable du 2ème Laboratoire. De plus, il est prévu de doubler dans un laps de deux à trois ans le nombre d'ingénieurs de recherche et développement travaillant sur le flou au laboratoire central (ce qui porterait leur nombre aux environs de 25).

Des réalisations concrètes illustrent leur savoir-faire en matière de contrôle flou. On nous montre sur une bande vidéo un robot-aspirateur dont les déplacements (vitesse et direction) sont gérés par un système de commande floue permettant de parcourir la totalité d'une pièce tout en évitant les obstacles (pieds de table, chaises). Ce système comporte 23 règles. Un système de régulation du débit et de la température d'eau domestique à contrôle flou [45] fait ensuite l'objet d'un exposé. Il comprend 14 règles (7 pour la température et 7 pour le débit), prend en compte le phénomène d'eau morte (eau qui s'est refroidie dans la canalisation d'eau chaude) et comme dans l'application précédente la méthode du centre de gravité sert à interpoler entre les résultats de chacune des règles déclenchées. Les performances de ce système ont été comparées à celles d'un "mitigeur" mécanique à deux valves et montrent une amélioration sensible au plan de la courbe de température et du temps de remplissage nécessaire. Là encore, on nous dit (voir aussi [45]) qu'un système de commande floue de type PID avait auparavant été essayé mais s'était révélé insatisfaisant (semble-t-il à cause du caractère non-linéaire du processus). Le système est implémenté sur un microordinateur monochip 8 bits. Ce procédé fait partie intégrante d'une salle de bains commercialisée par la société. Nos interlocuteurs citent également d'autres applications (machine à laver, système de mise au point dans une caméra vidéo, système de contrôle de circulation, turbine de centrale électrique) qui font actuellement l'objet d'études avancées et/ou de réalisations.

M. Hayashi nous présente une démonstration de commande floue d'un pendule inversé (il s'agit d'un système à deux degrés de liberté constituée d'une barre de 40 cm de long, pesant 40 g) dont l'une des extrémités peut tourner autour d'un axe horizontal solidaire dans un chariot mobile sur un rail). La première partie de la démonstration concerne un système de commande [51] à 49 règles (7 valeurs de la variable "vitesse" combinées à 7 pour la variable "angle", les conclusions des règles étant non-floues). Face à tout mouvement imposé au sommet du

pendule, le système engendre un déplacement de la base du pendule afin de réinstaurer l'équilibre. Nous avons pu constater la robustesse du système face à des cascades de sollicitations très rapprochées auxquelles le système a fait face. La seconde partie de la démonstration avait trait à l'apprentissage par un réseau neuronal [17] des règles relatives à cette application. Le système ne comporte plus alors que deux "règles" qu'il a apprises (l'une permettant de passer de la position pendante du pendule à la position d'équilibre (instable) haute, en une vingtaine de secondes, l'autre maintenant cette position d'équilibre). Le temps d'apprentissage d'une règle se situe entre une demi-heure et une heure, temps pendant lequel des séquences manuelles sont fournies au système d'apprentissage. Il est à noter que les deux "règles" apprises ne sont plus à proprement parler des règles de type "si... alors" mais deux relations floues définies sur le produit cartésien des variables d'état et de commande.

Dans une seconde partie de notre visite, le Dr. Umano qui travaille à l'Université d'Osaka et collabore avec Matsushita nous a rejoint. Le Dr. Umano s'intéresse aux ensembles flous depuis la fin des années 70. Il a tout d'abord travaillé dans le domaine des bases de données en définissant une extension de l'algèbre relationnelle de Codd utilisant la théorie des possibilités pour représenter à la fois des relations floues et des prédicats flous [46][47]. Un prototype nommé FREEDOM-0 pour Fuzzy RELational Extension for Data Organization and Manipulation version 0, a été réalisé en FORTRAN.

Depuis, le Dr. Umano s'est tourné vers l'introduction des ensembles flous dans les langages Lisp [49] et Prolog [48], ainsi que dans les systèmes d'inférence à règles de production [50]. Il nous a en particulier présenté une démonstration d'un système permettant de manipuler des ensembles flous en Franz Lisp. Nous avons pu constater que divers types de relations et ensembles flous étaient définis et utilisables au travers de fonctions Lisp prédéfinies. Il ne s'agit cependant pas dans ce cas d'un moteur d'inférence, le raisonnement utilisant ces notions reste totalement à la charge du programmeur dans ce système. L'une des versions de cet outil est d'ores et déjà diffusée gratuitement dans des centres de recherche du Japon à plus de huit cent exemplaires.

Discussion

La politique de développement de Matsushita repose sur l'idée que les composants utilisant les ensembles flous ne représentent pas un objectif en eux-mêmes, mais font partie de produits dans lesquels ils s'insèrent. Si les performances l'exigent, ils envisagent de développer des matériels spécifiques pour le flou, mais pour le moment les applications (mitigeur, robot-aspirateur) ne font pas apparaître ce type de besoin. Plus généralement sur la question du

matériel dédié au flou, le Dr. Umano pense que les études entreprises au Japon n'iront pas dans les cinq ou six ans à venir au-delà des spécifications d'un calculateur flou avec d'éventuelles réalisations de quelques composants. La discussion tourne ensuite vers les systèmes experts flous. Nos interlocuteurs se montrent convaincus de la nécessité de travailler dans cette direction pour aborder des problèmes de complexité supérieure à ceux des systèmes de commande floue actuels. A ce propos, le Dr. Umano insiste sur le fait que par nature, le raisonnement dans un système expert nécessite l'enchaînement de règles et que souvent, il y a confusion entre système expert flou et système de commande floue. Il pense qu'à l'heure actuelle trop peu de recherches sont menées au Japon sur ce sujet.

Conclusion

Notre conclusion comporte deux parties. La première est consacrée à une synthèse de notre visite en dégagant les points les plus marquants. Dans un second temps, nous nous efforçons de formuler quelques propositions relatives au domaine du flou et de ses applications en direction à la fois des industriels et de la recherche publique française.

L'un des phénomènes qui nous a le plus frappé lors de notre visite est la synergie existant entre universitaires et centres de recherche et développement industriels. Les équipes universitaires sont le plus souvent de taille très modeste : un professeur et des étudiants en maîtrise et thèse (ceci quel que soit le domaine de recherche). Elles se consacrent d'une part à des études plutôt théoriques (en ce sens qu'aucun développement important ne semble entrepris dans un laboratoire en dehors d'une collaboration industrielle), d'autre part à une activité de valorisation/conseil des activités précédentes auprès de nombreux industriels. Soulignons à ce propos le climat de confiance et d'estime réciproques qui existe entre universitaires et industriels. Une même équipe peut conseiller simultanément jusqu'à une demi-douzaine de compagnies. Le terme conseil signifie souvent un encadrement scientifique visant à court, moyen ou long terme une réalisation technologique. Dans ce contexte, il est clair que la force de recherche et développement capitalisant du savoir-faire propre à l'émergence de maquettes, de prototypes ou de systèmes commercialisés se trouve chez les industriels. Un second point digne d'intérêt concerne le caractère très pragmatique des industriels japonais, allié à une grande ténacité. En effet, partant des études des laboratoires universitaires dans le domaine du contrôle flou, ils n'ont pas cherché des applications "tous azimuts", mais au contraire se sont focalisés sur quelques applications bien choisies sur lesquelles ils ont parfois dû investir longtemps avant de voir poindre les résultats (le système de commande de métro de Sendai a demandé six ans de développement). Dans la quasi-totalité des applications, nous avons pu constater que des comparaisons avec des solutions plus classiques avaient été entreprises afin de s'assurer d'un gain substantiel par l'utilisation de techniques fondées sur le flou. Enfin, plusieurs de nos interlocuteurs industriels ont clairement exprimé leur souhait de voir leur activité dans le domaine augmenter de façon sensible aussi bien au plan recherche/ développement que commercialisation de produits, ce qui atteste de la volonté de pérenniser l'utilisation de techniques fondées sur les ensembles flous dans ces compagnies.

Cependant, et ceci nous conduit au troisième fait important, toutes les applications ont un point commun : les techniques mises en jeu sont celles de la commande floue, c'est-à-dire qu'elles n'utilisent qu'un seul niveau de règles dont les conclusions partielles sont synthétisées de façons diverses, selon qu'elles sont ou non floues. Ceci constitue à la fois une force et une faiblesse dans la mesure où les autres types d'applications, qu'il s'agisse de bases de données

ou plus généralement de l'intelligence artificielle pour la représentation et la manipulation de connaissances utilisant les ensembles flous (souvent recouverts par l'appellation "systèmes experts flous") n'ont pas été véritablement abordés (en comparaison de ce qui a déjà été fait en Europe et en Amérique du Nord). Nos interlocuteurs, qu'ils soient universitaires ou industriels ont tous reconnu la nécessité de s'ouvrir aux systèmes experts flous dans les potentialités desquels ils croient beaucoup. Cependant, dans ce domaine on observe que la recherche universitaire japonaise bien qu'active et représentée depuis déjà plusieurs années, n'occupe pas pour le moment une position dominante. On peut penser que les bases théoriques et les outils méthodologiques nécessaires à l'avènement de ces systèmes sont beaucoup plus complexes à maîtriser que celles nécessaires à la réalisation de systèmes de commande floue. De plus, peut-être les applications, les besoins et les marchés sont-ils moins bien identifiés dans le créneau des systèmes experts flous ? Pour terminer sur les liens entre flou et intelligence artificielle, il faut mentionner qu'à plusieurs reprises, des approches mixtes "neuronal + flou" nous ont été présentées, les réseaux neuronaux étant utilisés pour l'apprentissage, le "flou" intervenant aux niveaux représentation des connaissances et inférence.

Le dernier point à souligner est la forte volonté de promotion du domaine existant au Japon. Même si une partie de la communauté scientifique japonaise reste un peu distante, voire réticente, force est de constater l'essor actuel du domaine qui se traduit concrètement de trois manières :

- création par le MITI du laboratoire LIFE qui regroupe près de cinquante industriels désireux de rassembler leurs efforts pour conforter les acquis (systèmes de commande automatique) et aborder de nouveaux thèmes de recherche/développement (systèmes experts, systèmes d'information avancés et matériel),
- mise en place d'un programme de recherche par l'AST qui peut être vu comme le pendant universitaire de LIFE permettant de donner une impulsion à des recherches plus fondamentales menées dans des laboratoires universitaires, en restant cependant en relation avec quelques groupes de recherche industriels privilégiés,
- sortie prochaine (décembre 1990) d'une revue scientifique japonaise trimestrielle consacrée exclusivement au domaine.

Deux questions se posent ici :

- Quels sont les liens entre LIFE et le programme de l'AST ?
- Les universitaires japonais profiteront-ils du programme de recherche lancé par l'AST (ainsi que de LIFE) pour s'ouvrir davantage aux travaux des chercheurs européens et américains

sur les systèmes experts flous et plus généralement les systèmes d'information et les systèmes d'inférence avancés, qu'ils semblent méconnaître, au moins en partie ?

Nous allons maintenant aborder les enseignements que nous tirons de notre mission au plan français. Tout d'abord, il est certainement souhaitable que des industriels français effectuent une visite chez leurs homologues japonais afin de toucher du doigt la réalité industrielle dans le domaine de la commande floue et les efforts entrepris pour élargir le champ d'utilisation des ensembles flous. Ce second élément pourra être sans doute mieux apprécié à partir de la seconde moitié de 1990 (soit un an après le démarrage de LIFE), ce qui rend cette période plus appropriée pour d'éventuelles visites. Ceci pourrait avoir une retombée importante, à savoir contribuer à l'identification de créneaux dans lesquels des industriels français (ou européens) peuvent valablement s'engager pour appliquer des techniques basées sur le flou. Ceci est d'autant plus possible que, comme nous l'avons mentionné auparavant, le créneau actuellement couvert par les industriels japonais demeure étroit.

Cependant, nous sommes convaincus que si des contacts (voire des collaborations) industriels franco-japonais peuvent être fructueux (bien qu'aucune stratégie ne soit clairement définie au niveau de LIFE et que des réticences soient prévisibles – on parle surtout de collaboration au travers d'universitaires étrangers), il est indispensable d'instaurer un partenariat réel entre les industriels français désireux d'entreprendre une activité de recherche/développement dans le domaine et les chercheurs et universitaires français (voire européens) qui s'y consacrent. Ceci pourrait contribuer à asseoir les préoccupations des industriels intéressés dans le domaine dans une certaine durée (n'oublions pas qu'une des raisons du succès des japonais est leur volonté de s'engager sur des périodes suffisamment longues et de choisir des thèmes d'applications suffisamment précis pour pouvoir aboutir) et permettre aux industriels de tirer parti des compétences existant en France dans les établissements publics de recherche. A cet effet, il serait certainement très utile de structurer quelque peu la petite communauté scientifique française s'intéressant au domaine du flou afin qu'elle puisse devenir un partenaire effectif et efficace. En effet, une demi-douzaine de groupes ou équipes, ainsi que des individus plus isolés, travaillent actuellement sur divers aspects du flou (voir par exemple le numéro spécial de Fuzzy Sets and Systems [9] sur les recherches sur les ensembles flous et la théorie des possibilités en France et le dossier Interfaces [5]), souvent en liaison avec d'autres disciplines et structures (GRECO Automatique, PRC Intelligence Artificielle, PRC Bases de Données, PRC Communication Homme-Machine, ...), mais sans qu'une communauté ne ressorte véritablement. Dans ce but, la mise en place d'un groupe de travail français serait sans doute bienvenue. Ses objectifs pourraient être de créer une meilleure dynamique entre les chercheurs du domaine, de faciliter l'interface avec les industriels et le reste de la communauté scientifique, en promouvant par exemple des activités de formation, ou en organisant des

rencontres.

Globalement, il nous semble que l'on se trouve actuellement à la croisée des chemins. Ou bien, suffisamment de gens et d'organismes prennent conscience en France et en Europe de l'intérêt et de la maturité des méthodologies issues des ensembles flous et de la théorie des possibilités et en tirent les conclusions afin que l'industrie française et européenne soit en mesure de conquérir au moins une partie non négligeable de ce futur marché, ou les japonais finiront d'acquérir auprès de la communauté scientifique internationale ce qui leur manque encore et domineront définitivement et complètement tout le champ des applications.

Remerciements

La mission à la base de ce rapport a été rendue possible grâce aux Services Scientifiques de l'Ambassade de France au Japon et tout particulièrement à Monsieur François Grout. Les auteurs tiennent aussi à exprimer leurs vifs remerciements à Monsieur Michel Grabisch, de la société Thomson Sintra (Etablissement de Cagnes-sur-Mer) et boursier du Comité Forme pour les avoir accompagnés tout au long de leur visite et avoir si gentiment et si efficacement facilité les contacts en de nombreuses occasions. Enfin des remerciements très chaleureux vont à leurs hôtes japonais, industriels ou universitaires, pour la très grande qualité de leur accueil et tout le temps qu'ils ont bien voulu leur consacrer, et plus particulièrement aux Professeurs Michio Sugeno et Toshiro Terano qui ont largement contribué à l'organisation et au bon déroulement de cette visite.

Références

- [1] Amano A., Aritsuka T., Hataoka N., Ichikawa A. On the use of neural networks and fuzzy logic in speech recognition. Proc. of the Inter. Joint Conf. on Neural Networks, Washington, D.C., 1989 .
- [2] Andersen T.R., Nielsen S.B. An efficient single output fuzzy control algorithm for adaptive applications. Automatica, 21, 1985, 539-545.
- [3] Arikawa H., Hirota K., Sakawa M. Demonstration of fuzzy workstation & its application to actual control. Proc. of the 3rd Inter. Fuzzy Systems Association (IFSA) Congress, University of Washington, Seattle, USA, Aug. 6-11, 1989, 9-11.
- [4] Bezdek J.C. (ed.) Proceedings of Third International Fuzzy Systems Association (IFSA) Congress, University of Washington, Seattle, USA, Aug. 6-11, 1989 (840 p.).
- [5] Bouchon B., Dubois D., Prade H., Sanchez E. Où en sont les ensembles flous ? Partie 1 : Sous-ensembles flous et théorie des possibilités : origine et développement (B. Bouchon) ; Partie 2 : Ensembles flous et mesures de possibilité : aspects théoriques et pratiques (D. Dubois, H. Prade) ; Partie 3 : Applications industrielles de la commande floue au Japon (E. Sanchez). AFCET/Interfaces, n° 80, Juin 1989, 5-25.
- [6] Corder R.J. A high-speed fuzzy processor. Proc. of the 3rd Inter. Fuzzy Systems Association (IFSA) Congress, University of Washington, Seattle, USA, Aug. 6-11, 1989, 379-389.
- [7] Diamond J., McLeod R.D., Pedrycz W. A fuzzy cognitive system : foundations and VLSI implementation. Proc. of the 3rd Inter. Fuzzy Systems Association (IFSA) Congress, University of Washington, Seattle, USA, Aug. 6-11, 1989, 396-399.
- [8] Ding L.Y., Shen Z.L., Mukaidono M. Fuzzy linear resolution as the inference engine of intelligent systems. In : Methodologies for Intelligent Systems, 4 (Z.W. Ras, ed.), Elsevier Science Publ., 1989, 1-8.
- [9] Dubois D., Ernst C., Prade H. (eds.) Special issue on Mathematical Modelling (in France). Fuzzy Sets and Systems, 28(3), 1988, 233-385.
- [10] Dubois D., Lang J., Prade H. Theorem proving under uncertainty —A possibility theory-based approach—. Proc. of the 10th Inter. Joint Conf. on Artificial Intelligence (IJCAI 87), Milano, Italy, Aug. 23-28, 1987, 984-986.
- [11] Dubois D., Prade H. (avec la collaboration de Farreny H., Martin-Clouaire R., Testemale C.) Théorie des Possibilités - Applications à la Représentation des Connaissances en Informatique. Deuxième édition revue et augmentée, Masson, Paris, 1987.
- [12] Dubois D., Prade H. Handling uncertainty in expert systems : pitfalls, difficulties, remedies. Tech. Rep. L.S.I. (Univ. P. Sabatier, Toulouse), n° 311, 1988. Also in The Reliability of Expert Systems (E. Hollnagel, ed.), Ellis Horwood, Chichester, U.K., 1989, 64-118.
- [13] Dubois D., Prade H., Sanchez E. (eds.) Special Issue on Fuzzy Data Bases. Information Sciences, 14(6), 1989.
- [14] Grout F. L'IA au Japon —effervescence sur le flou—. Report n° 0523/FG/no, Ambassade de France au Japon, Service Scientifique, mai 1989.

- [15] Grout F. 100 applications de la logique floue. Japon I.A., n° 1, Sept. 1989, 10-17 (diffusé par la Lettre de l'Intelligence Artificielle, publiée par EC2).
- [16] Guey F., Todo I. A new fuzzy self-organizing control algorithm and its application to the control of a robot arm. Proc. of the 20th Inter. Symposium on Industrial Robots (ISIR), Tokyo, 1989, 137-144.
- [17] Hayashi I., Nomura H., Wakami N/ Artificial_neural_network_driven fuzzy control and it's application to the learning of inverted pendulum system. Proc. of the 3rd Inter. Fuzzy Systems Association (IFSA) Congress, University of Washington, Seattle, USA, Aug. 6-11, 1989, 610-613.
- [18] Hinde C.J. Fuzzy Prolog. Int. J. Man-Machine Studies, 24, 1986, 569-595.
- [19] Hirota K., Ozawa K. Fuzzy flip-flop as a basis of fuzzy memory modules. In : Fuzzy Computing - Theory, Hardware, and Applications (M.M. Gupta, T. Yamakawa, eds.), North-Holland, Amsterdam, 1988, 173-183.
- [20] Kikuchi H., Mukaidono M. PROFIL : fuzzy interval logic Prolog. Proc. of the Inter. Workshop on Fuzzy System Applications, Iizuka, Japan, 1988, 205-206.
- [21] Kosaka M. New trends in securities information systems. Presented as an invited speech in World Conf. on Information Processing and Communication, Seoul, 1989.
- [22] Lee C.C. A self-learning rule-based controller employing approximate reasoning and neural net concepts. Memorandum n° UCB/ERL M89/84, Electronics Research Lab., College of Eng., Univ. of California, Berkeley, CA., July 1989.
- [23] Lee R.C.T. Fuzzy logic and the resolution principle. J. Assoc. Comput. Mach., 19, 1972, 109-119.
- [24] Mamdani E.H. Application of fuzzy set theory to control systems : a survey. In : Fuzzy Automata and Decision Processes (M.M. Gupta, G.N. Saridis, B.R. Gaines, eds.), North-Holland, New York, 1977, 77-88.
- [25] Mamdani E.H., Assilian S. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. Int. J. Man-Machine Studies, 7, 1975, 1-13.
- [26] Marinos P.M. Fuzzy logic and its application to switching systems. IEEE Trans. Comput., 18, 1969, 343-348.
- [27] Matsuba I. Optimal simulated-annealing method based on stochastic-dynamic programming. Physical Review A, 39, 1989, 2635-2642.
- [28] Matsuba I. Optimal simulated annealing method and its application to combinatorial problems. Proc. Inter. Joint Conf. on Neural Networks, Washington, D.C., 1989, Vol. 1, 541-546.
- [29] Motro A. (ed.) Special Issue on Imprecision in Databases. Bulletin IEEE on Data Engineering, 12(2), June 1989.
- [30] Mukaidono M., Shen Z.L., Ding L.Y. Fundamentals of fuzzy Prolog. Int. J. of Approximate Reasoning, 3, 1989, 179-193.
- [31] Murofushi T., Sugeno M. An interpretation of fuzzy measures and the Choquet integral as an integral with respect to a fuzzy measure. Fuzzy Sets and Systems, 29(2), 1989, 201-227.

- [32] Østergaard J.J. Fuzzy logic control of a heat exchanger process. In : Fuzzy Automata and Decision Processes (M.M. Gupta, G.N. Saridis, B.R. Gaines, eds.) North-Holland, New York, 1977, 285-320.
- [33] Preprints of Second International Fuzzy Systems Association (IFSA) Congress, University of Gakushuin, Tokyo, Japan, July 20-25, 1987.
- [34] Proceedings of the International Workshop on Fuzzy System Applications, Iizuka, Japan, Aug. 20-24, 1988.
- [35] Procyk T.J., Mamdani E.H. A linguistic self-organizing controller. *Automatica*, 15, 1979, 15-30.
- [36] Saito Y., Ishida T. A high speed software fuzzy inference controller. Proc. of the 3rd Inter. Fuzzy Systems Association (IFSA) Congress, University of Washington, Seattle, USA, Aug. 6-11, 1989, 12-15.
- [37] Shingu T., Nishimori E., Kawabata T., Odaka Y., Miyanari H., Masuda H. Fuzzy-based automatic focusing system for compact camera. Proc. of the 3rd Inter. Fuzzy Systems Association (IFSA) Congress, University of Washington, Seattle, USA, Aug. 6-11, 1989, 436-439.
- [38] Sugeno M. (ed.) *Industrial Applications of Fuzzy Control*. North-Holland, Amsterdam, 1985.
- [39] Sugeno M. (ed.) Special issue on Fuzzy Control. *Fuzzy Sets and Systems*, 26(2), 1988, 149-223.
- [40] Sugeno M., Nishida M. Fuzzy control of model car. *Fuzzy Sets and Systems*, 16, 1985, 103-113.
- [41] Sugeno M., Murofushi T., Mori T., Tatematsu T., Tanaka J. Fuzzy algorithmic control of a model car by oral instructions. *Fuzzy Sets and Systems*, 32(2), 1989, 207-219.
- [42] Tasaka Y. Hybrid bus type fuzzy controller with analog fuzzy chips. Proc. of the 3rd Inter. Fuzzy Systems Association (IFSA) Congress, University of Washington, Seattle, USA, Aug. 6-11, 1989, 280-283.
- [43] Togai M., Hirota K. (eds.) Special issue on Application of Fuzzy Set Theory. *Information Sciences*, 45(2), 1988, 75-346.
- [44] Togai M., Watanabe H. A VLSI implementation of a fuzzy-inference engine : toward an expert system on a chip. *Information Science*, 38, 1986, 147-163.
- [45] Ueki K., Fujieda H. Application of fuzzy logic control to an electronic mixing unit. Proc. of the 3rd Inter. Fuzzy Systems Association (IFSA) Congress, University of Washington, Seattle, USA, Aug. 6-11, 1989, 216-219.
- [46] Umamo M. Freedom-0 : a fuzzy database system. In : *Fuzzy Information and Decision Processes* (M.M. Gupta, E. Sanchez, eds.), North-Holland, Amsterdam, 1982, 339-347.
- [47] Umamo M. Retrieval from fuzzy database by fuzzy relational algebra. Proc. of the Inter. Federation of Automatic Control (IFAC) on "Fuzzy Information, Knowledge Representation and Decision Analysis (E. Sanchez, M.M. Gupta, eds.), July 19-21, 1983, 1-6.

- [48] Umamo M. Fuzzy-set Prolog. Proc. of the 2nd Inter. Fuzzy Systems Association (IFSA) Congress, Tokyo, Japan, July 20-25, 1987, 750-753.
- [49] Umamo M. Fuzzy-set manipulation system in Lisp. Proc. of the 2nd Inter. Fuzzy Systems Association (IFSA) Congress, Tokyo, Japan, July 20-25, 1987, 840-843.
- [50] Umamo M. Implementation of fuzzy production system. Proc. of the 3rd Inter. Fuzzy Systems Association (IFSA) Congress, University of Washington, Seattle, USA, Aug. 6-11, 1989, 450-453.
- [51] Wakami N., Akahori H., Ichihashi H. A comparative study of fuzzy sequence method control and linear feedback control. Proc. of the 3rd Inter. Fuzzy Systems Association (IFSA) Congress, University of Washington, Seattle, USA, Aug. 6-11, 1989, 63-66.
- [52] Watanabe H., Dettloff W., Yount K. VLSI chip for fuzzy logic inference. Proc. of the 3rd Inter. Fuzzy Systems Association (IFSA) Congress, University of Washington, Seattle, USA, Aug. 6-11, 1989, 292-295.
- [53] Willaeyts D., Malvache N., Hammad P. Utilization of fuzzy sets for systems modelling and control. Proc. IEEE Conf. Decision Control, New Orleans, 1977, 1435-1439.
- [54] Yagishita O., Itoh O., Sugeno M. Application of fuzzy reasoning to the water purification process. In : Industrial Applications of Fuzzy Control (M. Sugeno, ed.), North-Holland, 1985, 19-39.
- [55] Yamaguchi T., Endo T., Haruki K. Fuzzy predict and control method and its application. Proc. of the IEE Inter. Conf. CONTROL 88, University of Oxford, U.K., April 13-15, 1988, 287-292.
- [56] Yamaguchi T., Endo T., Haruki K., Kubo S. Fuzzy control system for elevator group and its simulation system. Proc. of the Inter. Workshop on Fuzzy System Application, IFSA 1988, Iizuka, Fukuoka, Japan, 1988, 269-270.
- [57] Yamaguchi T., Imasaki N., Haruki K. Fuzzy rule realization on associative memory system. Submitted to the Inter. Joint Conf. on Neural Networks (IJCNN'90), Washington, DC, 1990.
- [58] Yamakawa T. High-speed fuzzy controller hardware system – The mega-FIPS machine. Information Sciences, 45, 1988, 113-128.
- [59] Yamakawa T. Application of a grade-controllable membership function circuit to a singleton consequent fuzzy logic controller. Proc. of the 3rd Inter. Fuzzy Systems Association (IFSA) Congress, University of Washington, Seattle, USA, Aug. 6-11, 1989, 296-298.
- [60] Yamakawa T. Fuzzy hardware systems of tomorrow. In : Approximate Reasoning in Intelligent Systems Decision and Control (E. Sanchez, L.A. Zadeh, eds.), Pergamon Press, New York, 1989, 1-20.
- [61] Yamakawa T., Hirota K. (eds.) Special issue on Applications of Fuzzy Logic Control to Industry. Fuzzy Sets and Systems, 32(2), 1989, 137-237.
- [62] Yamakawa T., Kabuo H. A programmable fuzzifier integrated circuits-synthesis, design and fabrication. Information Sciences, 45, 1988, 75-112.
- [63] Yamakawa T., Miki T. The current mode fuzzy logic integrated circuits fabricated by the standard CMOS process. IEEE Trans. on Comp., C-35(2), 1986, 161-167.

- [64] Yasunobu S., Hasegawa T. Evaluation of an automatic container crane operation system based on predictive fuzzy control. *Control-Theory and Advanced Technology*, 2, 1986, Mita Press, Tokyo, Japan, 419-432.
- [65] Yasunobu S., Miyamoto S., Ihara H. Fuzzy control for automatic train operation system. *Proc. of the IFAC Control in Transportation Systems*, Baden-Baden, RFA, 1983, 33-39.
- [66] Zadeh L.A. Fuzzy sets. *Information and Control*, 8, 1965, 338-353.
- [67] Zadeh L.A. Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. *IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics*, 3, 1973, 28-44.
- [68] Zadeh L.A. Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility. *Fuzzy Sets and Systems*, 1, 1978, 3-28.

Annexe 1

Programme de la Mission sur le "Flou"

-x-----x-

Dimanche 15 octobre
9 H 15

Arrivée à NARITA - Vol AF270
Hôtel TAKANAWA
2-1-17, Takanawa, Minato-ku
TOKYO 108 - Tél : (03)-443-9251

Lundi 16 octobre
8 H 30- 9 H 30

Service Scientifique, Ambassade
(RV.avec M.GROUT qui vous accompagnera
toute la journée)

11 H 00-14 h 00

Institut de Technologie de TOKYO
Lab. de "System Engineering"
4259, Nakatsuda-machi, Midori-ku,
Bât.3 de Daigakuin - 11 F n°1114.
Prof. Michio SUGENO
Tél : 045-922-1111 (ex.2641)

15 H 30-17 H 00

HITACHI System Development Institute
Division N°1
1099, Ozenji, Asao-ku, Kawasaki-shi,
KANAGAWA
Mr.MATSUMOTO (Chef d'équipe de la Recherche)
Mr.MIYAMOTO
Tél : (044)-966-9111 (ex.2131)

Mardi 17 octobre
10 H 00-11 H 00

YAMAICHI SHOKEN (Maison de titres)
Bureau de développement pour le placement
de fonds
Wako Bldg.n°33, 2 F,
1-29-9, Kagigara-cho, Nihonbashi,
Chuo-ku TOKYO
M.KANEKO (Chef de Bureau)
Tél : (03)-660-6688

L'interprète du Service Scientifique vous retrouvera à l'entrée
de l'immeuble.

14 H 00-16 H 00

Univ.HOSEI, Fac. de technologie
Lab. de recherche sur le contrôle des mesures
Bât. de la Fac. de technologie 2 F-n°221
3-7-2, Kajino-cho, Koganei-shi TOKYO
Prof. adjoint Kaoru HIROTA
Tél : (0423)-81-5341

Mercredi 18 octobre
10 H 30-12 H 00

Univ.MEIJI
Centre des Sciences informatiques
1-1, Surugadai, Kanda,
Chiyoda-ku TOKYO
Prof.Masao MUKAIDONO (Directeur du Centre)
Tél : (03)-296-4029

14 H 00-15 H 00 International FUZZY Engineering Institute
Lab.n°1
Sea Bells HEGNER Bldg., 4 F
89-1, Yamashita-cho, Naka-ku,
YOKOHAMA-shi
Mr.Ryo YAMAGUCHI (Chef d'équipe/Recherche)
Tél : (045)-212-8211

15 H 00-17 H 00 International FUZZY Engineering Institute
(cf.adresse ci-dessus)
Mr.Toshio TERANO (Directeur de l'Institut)
Mr.Tomohiro TAKAGI (Chef du Lab.n°2)
Tél : (045)-212-8211

Jeudi 19 octobre
Matin

TOKYO (10 H 12) KYOTO (12 H 56)
Hôtel KYOTO PARK HOTEL
644-2, Mawari-machi, Sanju Sangen-do,
Higashiyama-ku KYOTO 605
Tél : (075)-525-3111

14 H 00-16 H 00 OMRON(TATEISHI Elec.)
Centre Promotionnel de FUZZY
Shimo Kai inji NAGAOKAKYO-shi
Mr.Kunio TAKADA
Tél : (075)-951-5111 (ex.183)
(L'accueil à la gare de KYOTO : selon l'heure d'arrivée du train-
en informer Mr.URASAKI- Tél : (075)-951-5117).

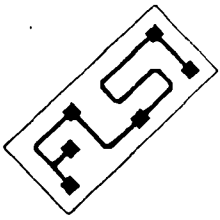
Vendredi 20 octobre
10 H 00-12 H 00 MATSUSHITA
3-15, Yakumo-Naka-machi, Moriguchi-shi
OSAKA
Mr.Yoshihiro FUJIWARA (Chef de Division)
Tél : (06)-909-1121

13 H 00-14 H 00 MATSUSHITA
Prof. adjoint Motohide MANO (Univ.d'OSAKA),
Centre de super-ordinateurs)

17 H 00- OSAKA (Aéroport) 18 H 00-TOKYO (Aéroport d'HANEDA)

Samedi 21 octobre
8 H 00-8 H 45 Petit déjeuner/concertation à l'Hôtel
TAKANAWA
9 H 00 Départ pour le TAKANAWA PRINCE
HOTEL (5 mn en taxi ; 15 mn à pied)
d'où démarre le bus limousine pour NARITA:
à 9 H 20 -(très précisément).

NB : M.Michel GRABICH, boursier du Comité Formé au Laboratoire du
professeur SUGENO, vous accompagnera durant toutes les visites.

*First Announcement and Call for Papers***IFSA**

SPONSORED BY

THE FUZZY LOGIC SYSTEMS INSTITUTE (FLSI: A FOUNDATION TO BE ESTABLISHED AT IIZUKA, JAPAN)
AND
THE INTERNATIONAL FUZZY SYSTEMS ASSOCIATIONS (IFSA)

INTERNATIONAL CONFERENCE ON FUZZY LOGIC & NEURAL NETWORKS (IIZUKA-90)

KYUSHU INSTITUTE OF TECHNOLOGY, IIZUKA
FUKUOKA, JAPAN
JULY 20 - 24, 1990

Great mathematicians and great electronics engineers created a powerful digital computer. It employs a "stored program concept" and holds a good extensibility of the system with a simple architecture. It is, however, easy for us to notice that it can not approach to a human brain. The behavior of the digital computer should be described by deterministic and precise languages, and it can accept only clear and complete informations. A human brain accepts uncertain informations to produce some reasonable answers. Furthermore, it will be compensated by itself, even if it is injured. It guarantees a good robustness or a good noise immunity in signal processing. These characteristics are not found out in the digital computer. We have to make an effort to get a new approach to a human brain, which will be a way to a post-binary-digital computer. We have now two candidates as approaches to a human brain. They are fuzzy logic systems and neural networks. The former is a modeling of a human thinking, and the latter is a modeling of a signal processing in a nervous tissue. Although we are very interested in their potential applications, the similarities and differences between them are not so clear. To cope with this fact, the International Conference on Fuzzy Logic & Neural Networks will be held under the sponsorship of the Fuzzy Logic Systems Institute (FLSI) and the International Fuzzy Systems Associations (IFSA).

The Fuzzy Logic Systems Institute (FLSI) is a foundation which will be established at Iizuka, Fukuoka, Japan, within 1989, to promote research and developments in fuzzy logic systems and neural networks, international collaborations, educations to engineers in companies and Ph.D. students, technology transfer to the industry, etc. The International Fuzzy Systems Associations is the biggest and worldwide society on fuzzy logic sciences.

Dates

Tutorials	July 20 - 21, 1990
Conference	July 22 - 24, 1990
Demonstrations	July 22 - 24, 1990
International Video Conference (Japan-U.S.A.-France)	July 24, 1990

Key Dates

Return the intention form	Right now
Deadline for abstract (1-page including clear conclusions)	March 1, 1990
Notifications to authors	April 10, 1990
Deadline for camera-ready forms (4 pages)	June 1, 1990

Topics

Uncertain Measures	Fuzzy Modeling
Approximate Reasoning	Fuzzy Hardware and Fuzzy Computers
Fuzzy Control	Fuzzy Relational Equations
Multiojective Decision Making	Multiple-Valued Logic
Fuzzy Clustering	Analog Architecture
Man-Machine Communication	Robotics with Uncertain Informations
Natural Language	Specialized Language
Specialized Architecture	Distributed Memory
Associative Memory	Learning Algorithms
Self-Organization	Perception
Cognition	Combinational Optimization
Neural Network design and evaluation	Neural Computers
Electronic, Optical & Molecular Implementations of Neural Networks	
Safety, Reliability and Fault-Tolerance	Noise Immunity of Fuzzy/Neural Systems
Knowledge Acquisition and Knowledge Representation	
Diagnostic Systems by Fuzzy Logic on Neural Networks	
Adaptive Systems	Other attractive Applications

Contact Person

Please send the intension form attached in this sheet to the following contact person.

Prof. Takeshi Yamakawa
Department of Computer Science and Control Engineering
Kyushu Institute of Technology
Iizuka, Fukuoka 820
Japan

PHONE (0948)28-5551 ex.401

FAX (0948)28-5582

PORTABLE TELEPHONE (030)19-04640 or (040)19-04640

I F E S '91

Nov. 13 ~ 15, 1991

Yokohama, Japan

INTERNATIONAL FUZZY ENGINEERING SYMPOSIUM '91

LIFE: Laboratory for International Fuzzy Engineering Research

This is an international symposium

sponsored by LIFE,

which, newly established in Yokohama, aims at promoting the advent of a highly sophisticated information-intensive society, always viewing information technology as an adjunct to human life, respecting the subjectivity and personality of each individual in an information-intensive society, and striving to create technology for mankind in the truest sense of the word,

focusing on

fuzzy theory and its human friendly applications to industry, medicine, business management, socio-economics, ecology, agriculture, behavior science, artificial intelligence, education etc.,

on November 13 ~ 15, 1991 in Yokohama,

which is a really exciting city with the biggest international port in Japan, proximate to Tokyo and Kamakura, which enable us to plan fascinating night cruises or sight seeing to various historic places,

in addition with

attractive demonstration displays and technical tours during the symposium on the most advanced fuzzy applications in Japan.

Organizing Committee

Chairman

T. Terano

Prof., Hosei University

Managing Director, LIFE

Co-Chairman

M. Sugeno

Prof., Tokyo Institute of Technology

Programming Committee

Chairman

M. Mukaidono

Prof., Meiji University

Secretariat

Laboratory for International
Fuzzy Engineering Research
Siber Hegner Building 4FL.
89-1 Yamashita-cho, Naka-ku
Yokohama, 231 JAPAN
FAX. +81-45-212-8256

Imprimé en France

par

. l'Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique

ISSN 0249-6399